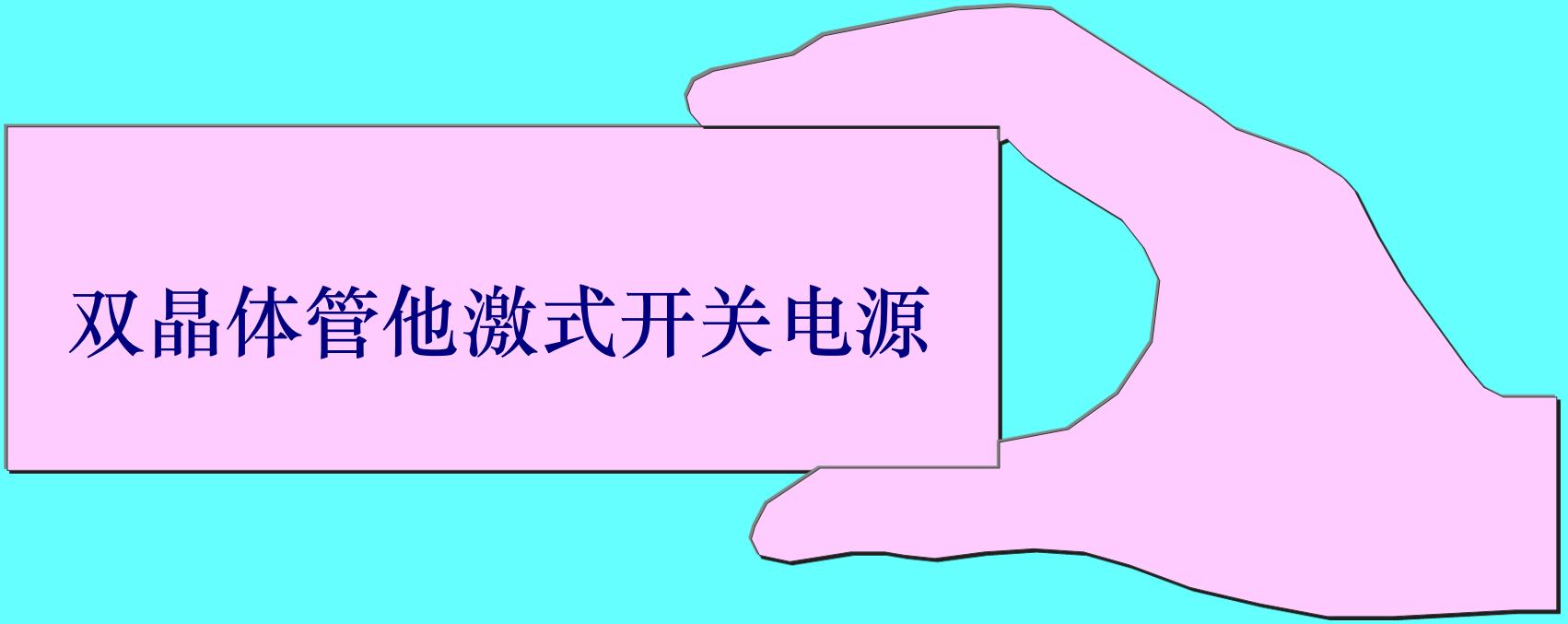
一种高性能的晶体管开关电源

陶显芳

2014.11. 1

一种高性能的晶体管开关电源

ZL201320481233.9



双晶体管他激式开关电源，采用两个晶体管串联当电源开关管使用。晶体管1工作于共基极电路，晶体管2工作于共发射极电路，当晶体管2截止时，相当于晶体管1的发射极开路，因此其耐压相当高，约等于BVceo的两倍。

双晶体管他激式开关电源的基本电路

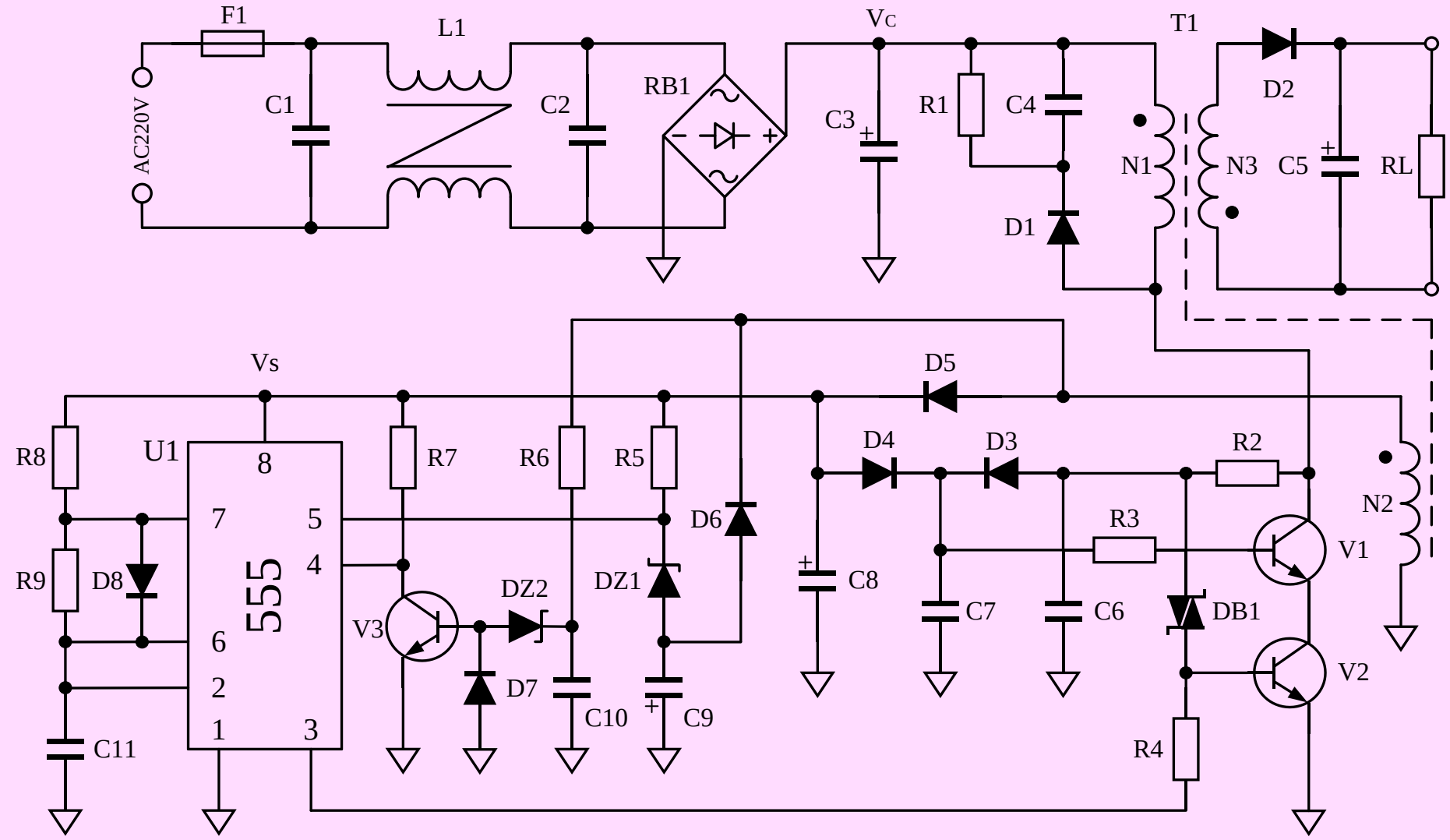


图1

双晶体管他激式开关电源的基本电路

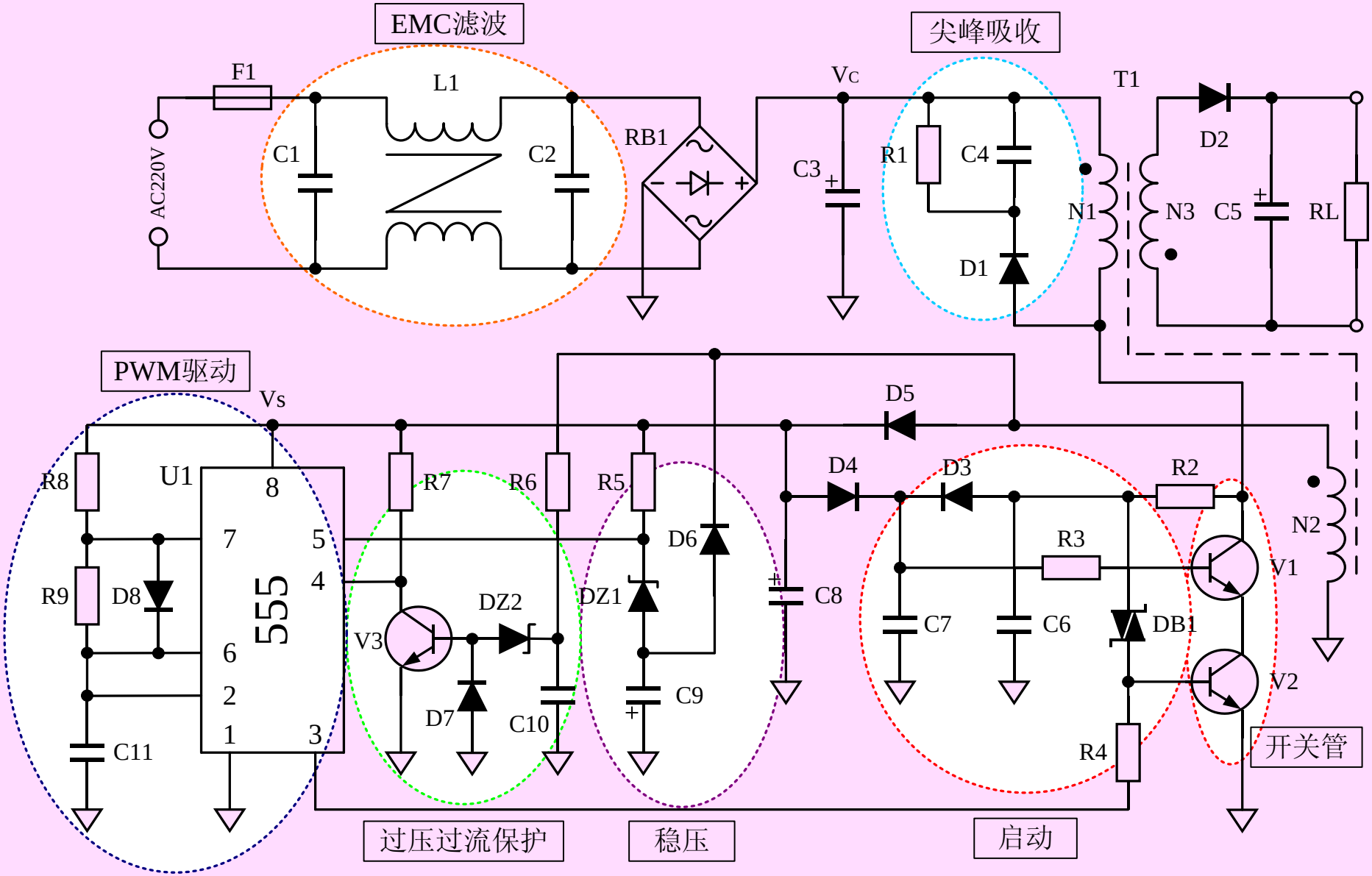


图2

双晶体管他激式开关电源基本特点

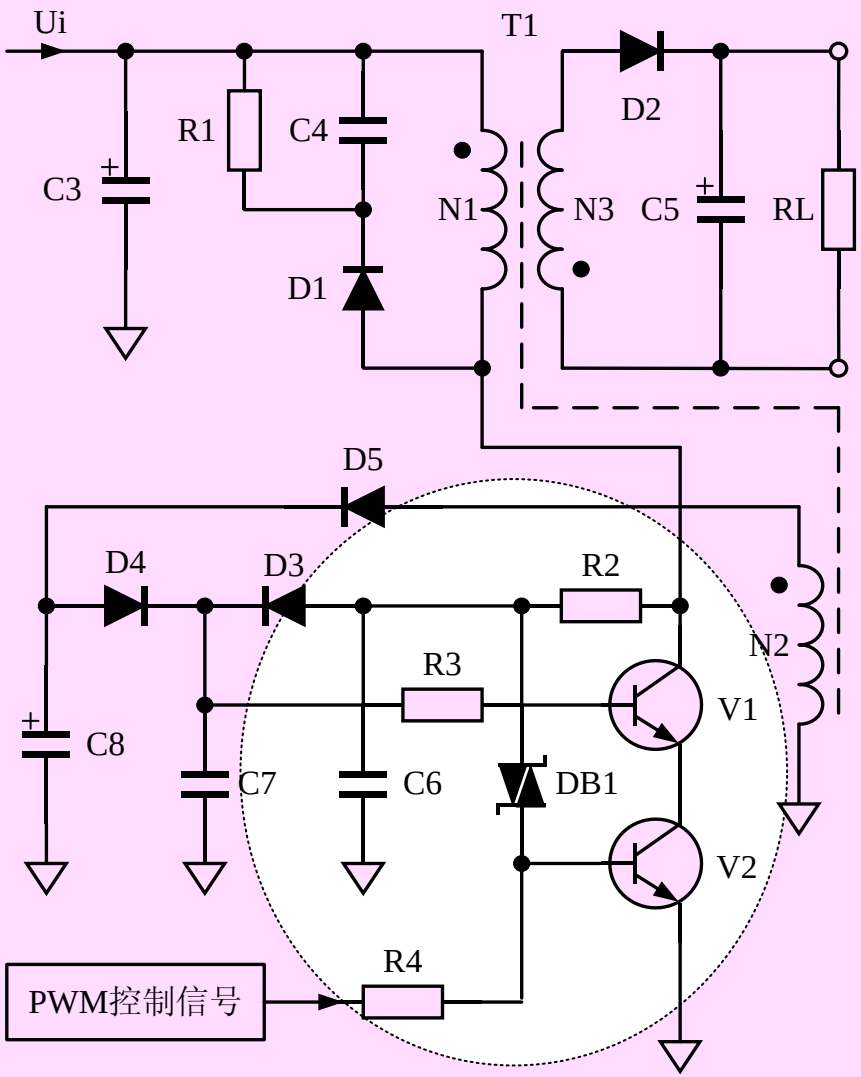
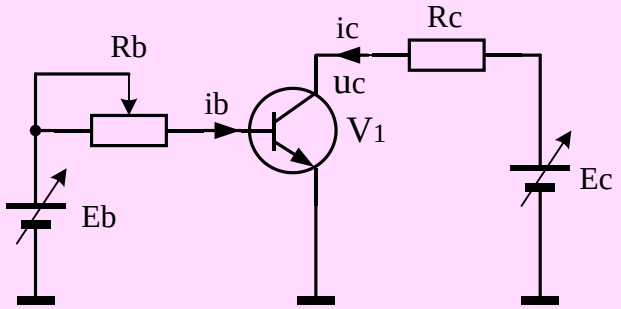


图3

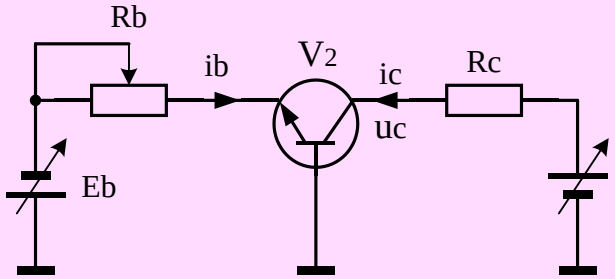
- 双晶体管他激式开关电源，开关管采用晶体管V1与晶体管V2串联，晶体管V1工作于共基极电路，晶体管V2工作于共发射极电路，驱动信号从晶体管V2的基极输入，当晶体管V2截止时，相当于晶体管V1的发射极开路，因此，晶体管V1的耐压为BVcbo，其耐压约等于基极开路路时集电极与发射极耐压（BVceo）的两倍；而晶体管V2的工作电压很低，电流放大倍数很大，只需要很小的基极电流就可以使其导通，因此，要求驱动电路提供输出的功率很小，工作效率很高。

晶体管共发射极与共基极的特点

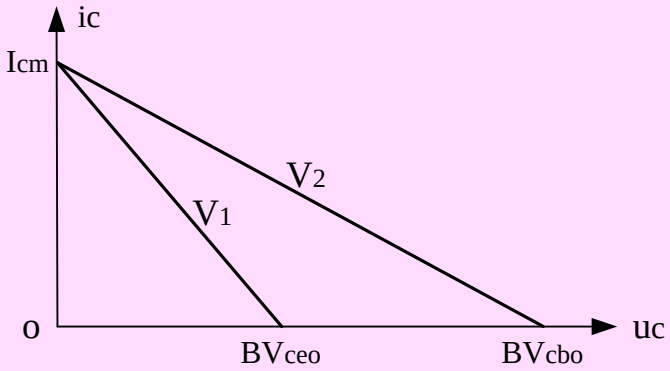
- 开关管的选用：一个是开关管的耐压BVm，另一个是开关管的工作电流Im。
- 图4是晶体管工作于共发射极（a）和共基极电路（b）的原理图和负载曲线图（c）。
- 晶体管工作于共基极电路时，其耐压BVcbo是工作于共发射极电路BVceo的两倍，因此，其输出功率也相当于大两倍（输出功率与三角形的面积成正比）。
- 例如：2SD1545的耐压：BVceo=600V、BVcbo=1500V，在输入电压为AC220V的情况下，当工作于共发射极电路时，最大占空比仅为0.3，而工作于基极电路时，其最大占空比可大于0.5，由此可知，其输出功率和工作效率均可提高70%。



(a) 共发射极电路



(b) 共基极电路



(c) 两种电路的i-u工作曲线

图4

双晶体管他激式开关电源的启动过程①

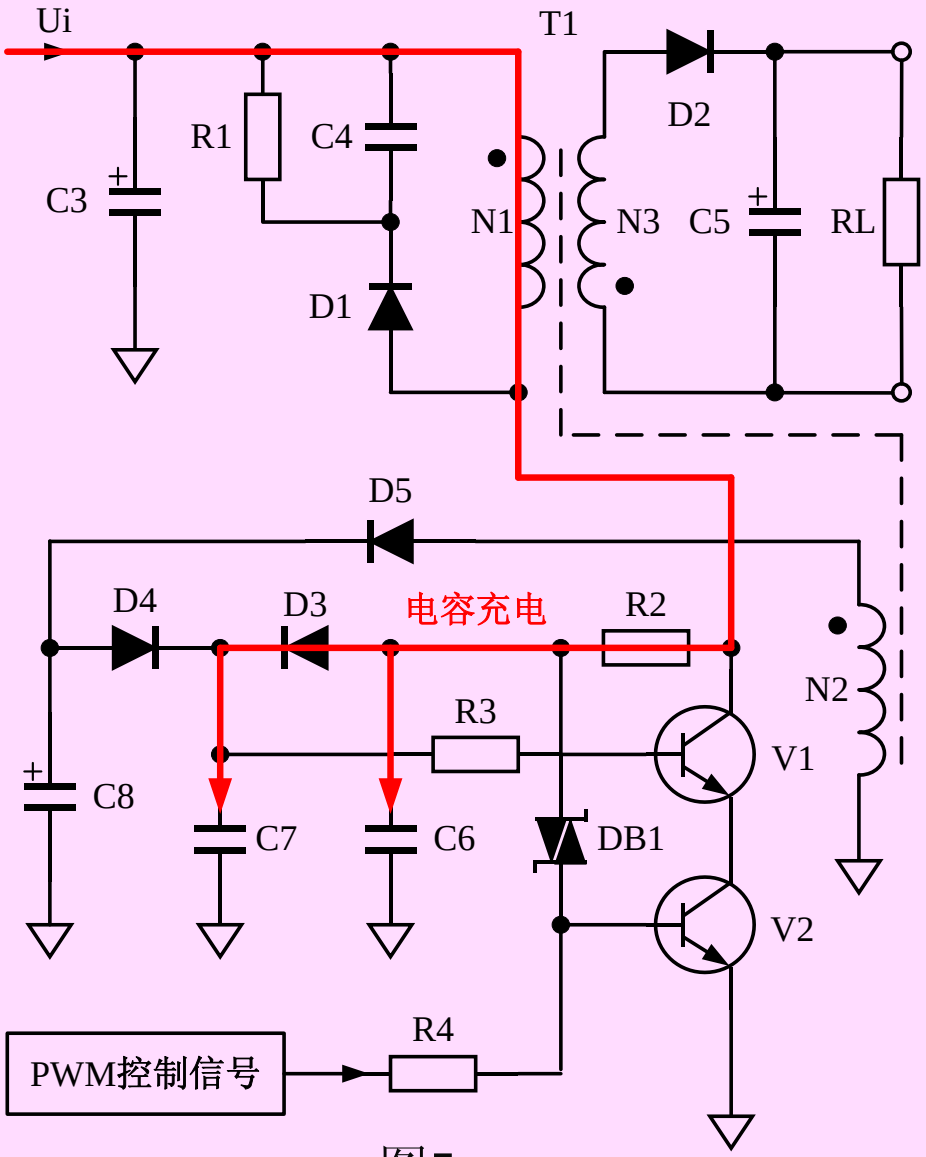


图5

- 当开关电源刚上电的时候，输入电压Ui通过变压器初级线圈、以及启动电阻R2首先对启动电容C6充电，同时通过整流二极管D3也对电容C7进行充电。
- 当电容器C6和C7两端的电压大约为30～35V时，触发二极管DB1开始导通，电容器C6两端的电压就是此开关电源的启动电压。

双晶体管反激式开关电源的启动过程②

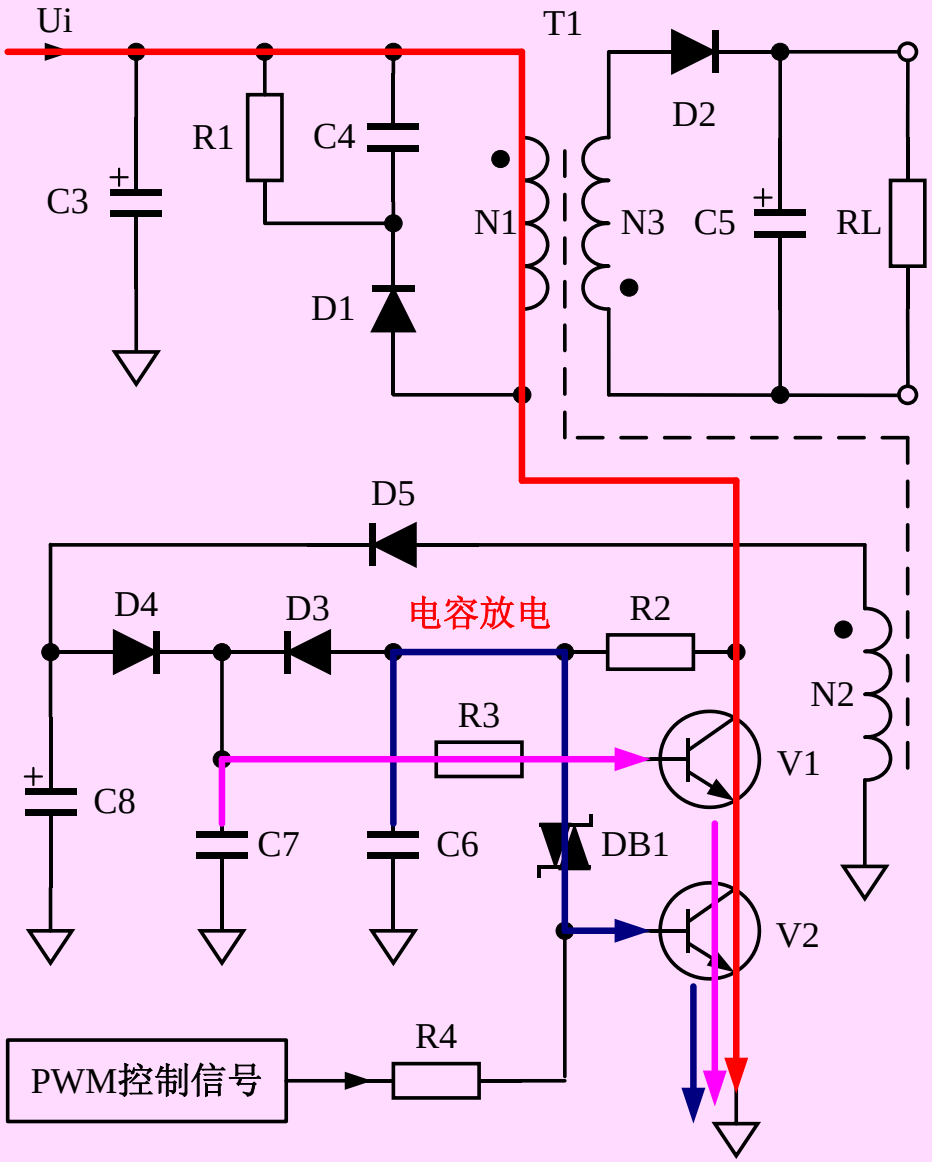


图6

- 当触发二极管DB1被触发导通后，电容C6通过触发二极管DB1和晶体管V2的基极进行放电，使晶体管V2 导通。
- 与此同时，电容C7也通过电阻R3和晶体管V1的基极，再经过V2的集电极进行放电，使晶体管V1也同时导通。
- 启动电阻R2的阻值可以取得很大（几兆欧姆），因此开关电源的启动电流非常小，工作效率很高。

双晶体管反激式开关电源的启动过程③

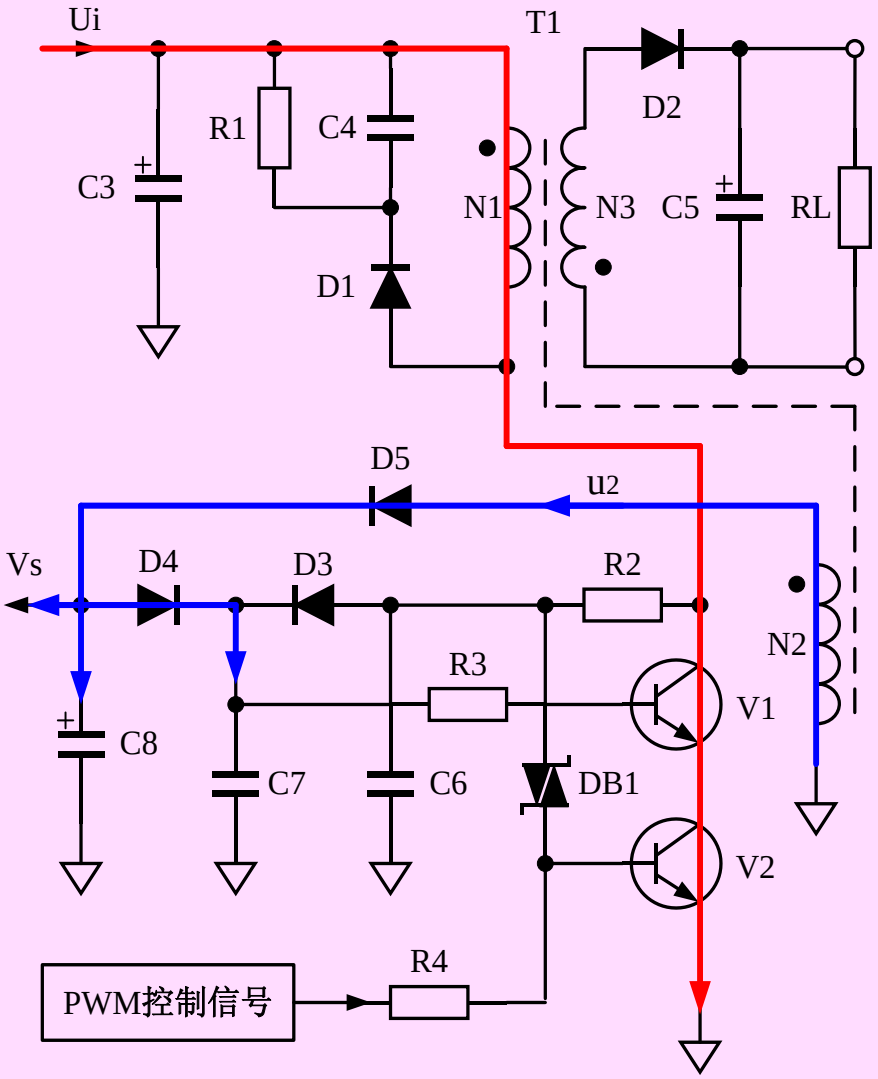
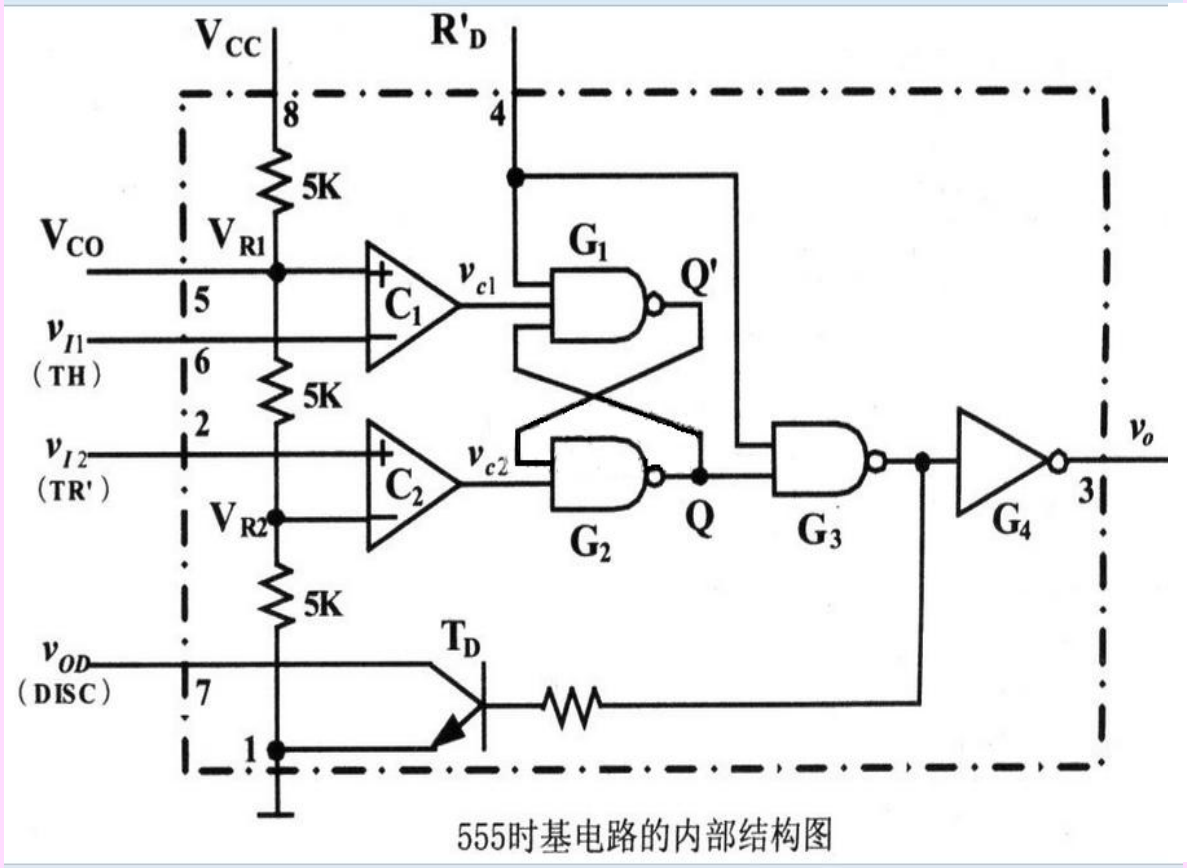


图7

- 当V1、V2导通之后，在变压器初级线圈中就有电流流过，同时在变压器次级线圈中也会感应产生一个正激电压u_2输出。然后，u_2通过整流二极管D5对电容C8进行充电，电容C8两端的电压Vs再对驱动电路（NE555）进行供电。
- 一旦晶体管V1与晶体管V2同时导通之后，虽然电容器C6一直还处于充电状态，但由于流过R2的电流被D3、R3分流，电容器C6两端电压再也无法达到触发二极管DP1的击穿电压，即，触发二极管DB1被击穿一次之后，再也不会被二次击穿，而后，开关电源进入正常工作状态。

NE555在双晶体管他激式开关电源中的应用①



555时基电路的内部结构图

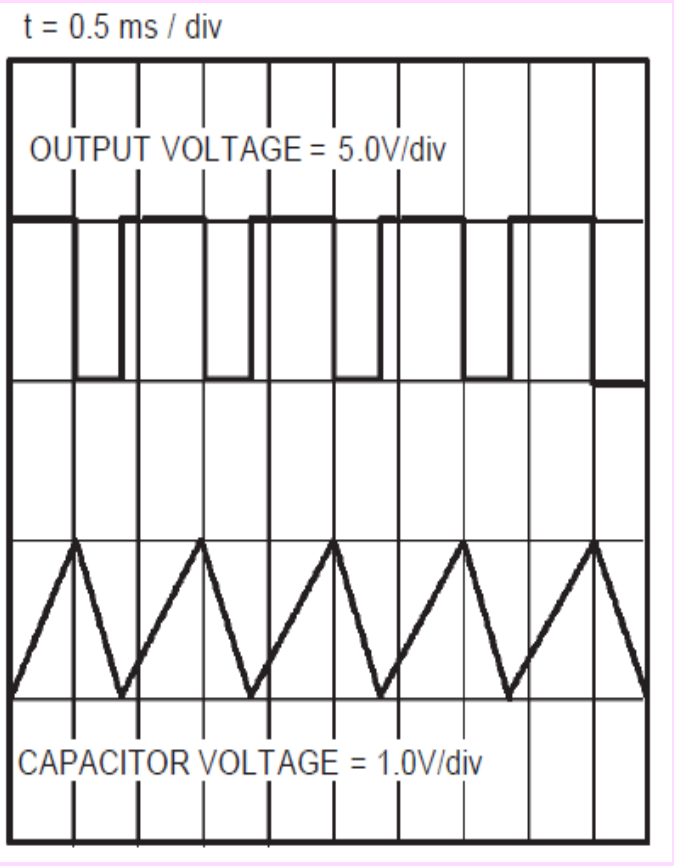


图8

- NE555内部有两个电压比较器，6脚和2脚分别为两个比较器的输入端，两个比较器的基准电压通过内部3个等值电阻分压得到，同时也可通过外部电路改变5脚的电位来改变基准电压的大小。

NE555在双晶体管他激式开关电源中的应用②

- NE555的5脚是电压比较器的一个输入端，改变5脚的电位就可以改变PWM脉冲的宽度，输出脉冲的宽度与5脚电压的大小成正比。因此可以把误差信号接到5脚就可以改变PWM的占空比。

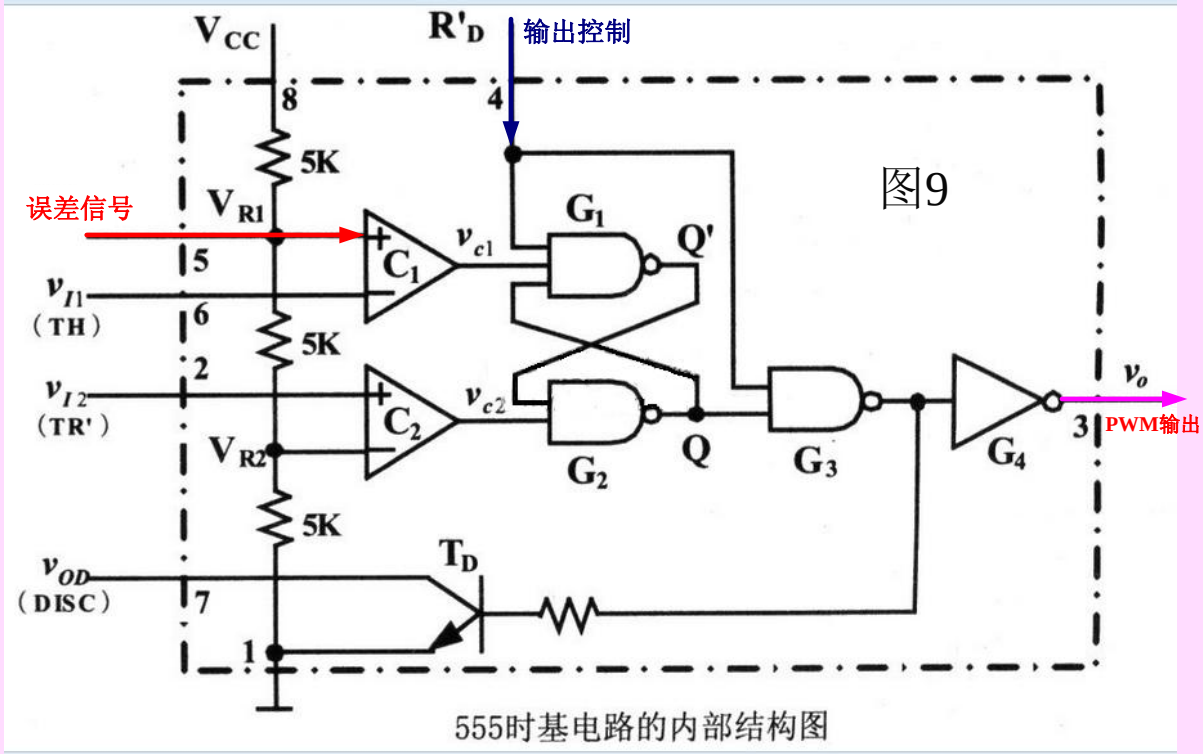


图9

555时基电路的内部结构图

- NE555的4脚为输出信号控制端，高电平为输出信号开关被接通，低电平时为输出被禁止，因此，可以利用4脚来进行过流或过压保护，其响应速度非常快。
- NE555的3脚是PWM脉冲输出端，其输出电流最大值达200mA以上，而一般的晶体管（V2）电流放大倍数都在30倍以上，因此，在输入电压为AC220V、占空比为0.5的条件下，NE555 可直接驱动一个300W以上的开关电源。

双晶体管他激式开关电源的稳压、过压、过流保护功能

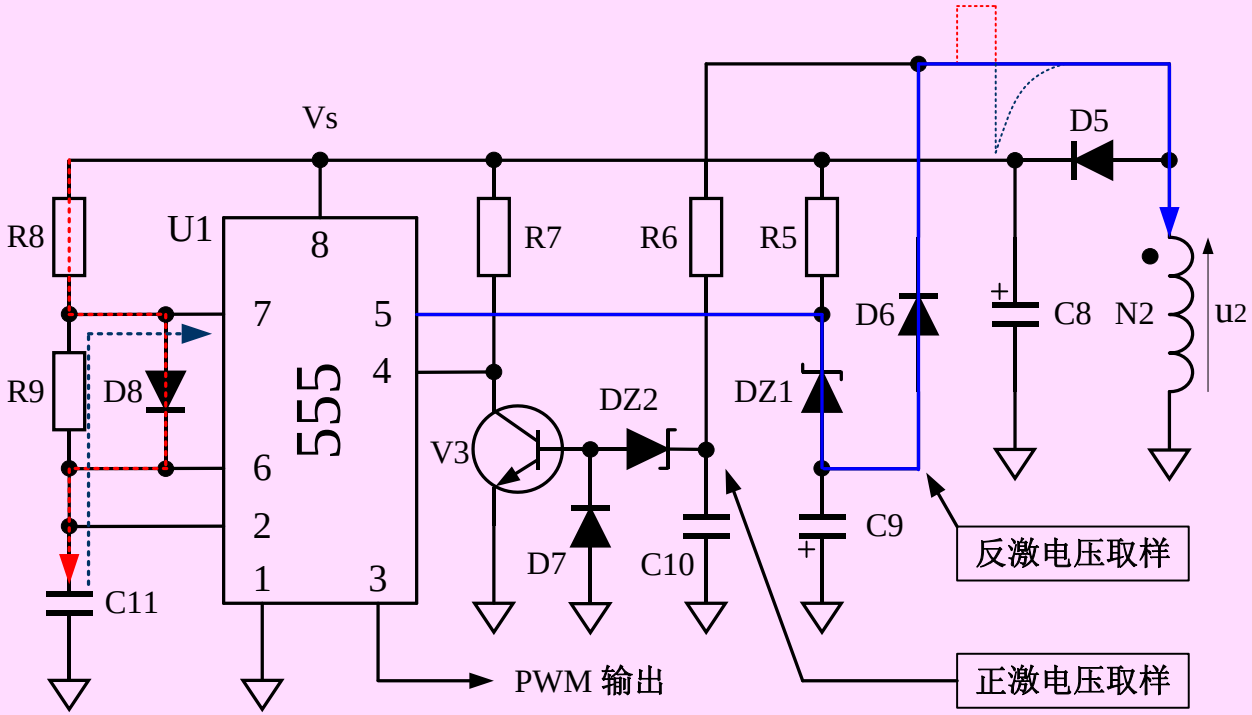


图10

- R8为C11的充电电阻，改变R8电阻的大小，就可改变PWM脉冲的宽度。
- R9为C11的放电电阻，改变R9电阻的大小，可改PWM脉冲的占空比。

- 变压器次级线圈N2的反激输出电压（u_2）$^-$ 通过D6整流，再经C9滤波，可作为反激输出电压的误差信号；此误差信号通过稳压二极管DZ1直接加到5脚来控制PWM脉冲的占空比，以达到稳定输出电压的目的。这种取样电路瞬态控制特性特别好，不会出现输出电压抖动的现象，但由于变压器线圈之间有漏感，与直接从输出电压端取样的效果还是存在一定的差别。

采用NE555实现稳压、过压、过流保护控制的工作原理

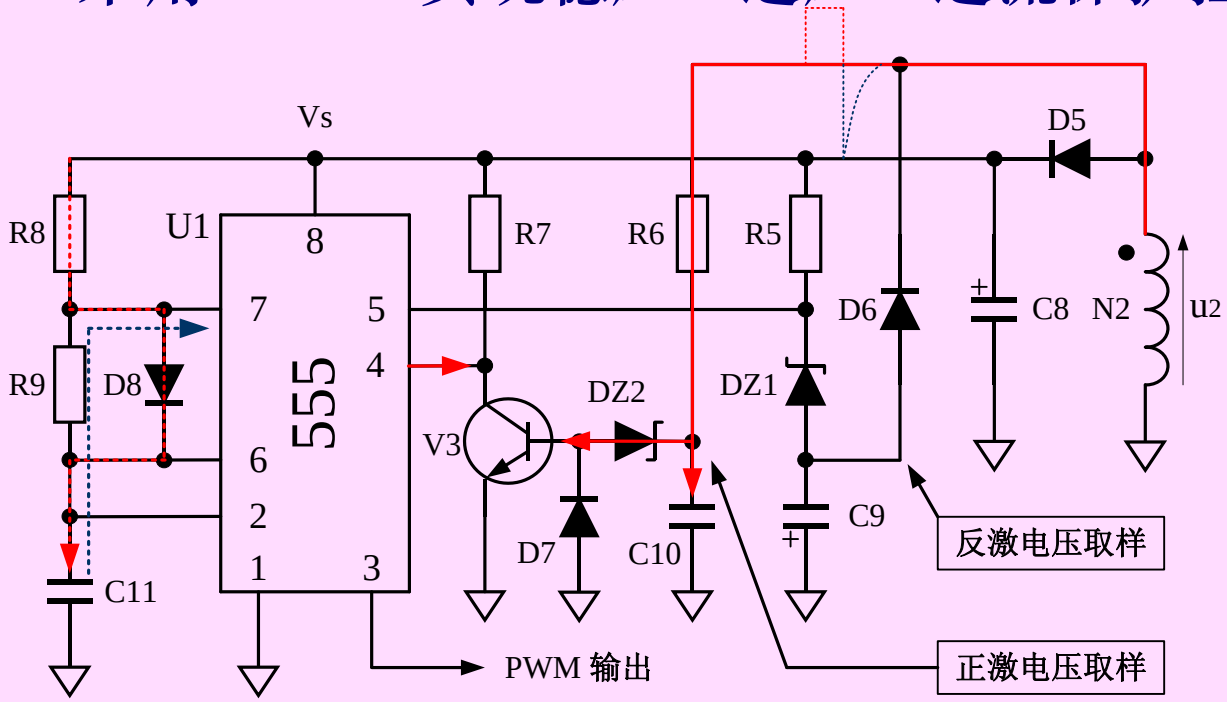


图11

➢ NE555的工作电压，以及稳压、过压、过流控制用的误差信号，均来自变压器次级线圈N2。因此，电路特别简单，并且，高温性能及瞬态控制特性特别好，因为省去了一个光电耦合器。

➢ 4脚具有输出禁止功能，N2输出的正激电压（u2)$^{+}$通过R6和C10积分后，可得到一个锯齿波，锯齿波正半周的幅度与N2正激输出电压的幅度和脉冲宽度成正比，而正半周的宽度则与反激输出电压幅度成正比；锯齿波电压经DZ2被加到放大器V3的输入端，V3的输出接4脚，当锯齿波正半周的幅度高于DZ2的稳压值时，V3导通，NE555输出脉冲被禁止，从而可实现对开关电源输出的过压、过流保护。

双晶体管他激式开关电源各参数的调整

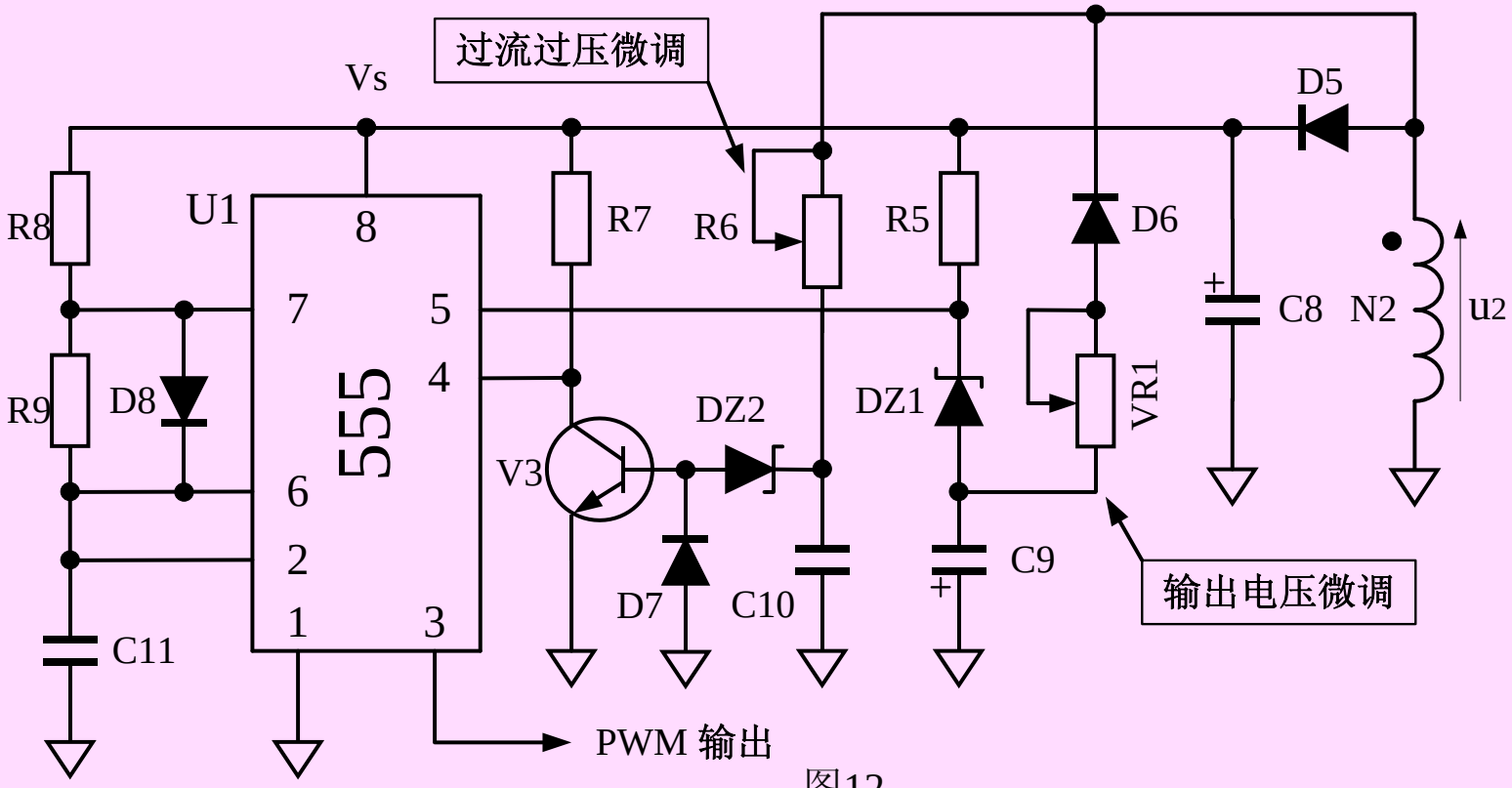


图12

- 当输出电压需要调整时，可改变稳压二级管DZ1的数值，需要微调时，可在D6整流回路中串联一个500欧姆左右的可变电阻，此电阻的阻值不能大，否则影响稳压效果。
- 如果要对过流、过压数值进行调整，可把电阻R6改成可变电阻。当R6与C10的乘积正好与正激脉冲的宽度相等时，C10两端的电压正好等于脉冲幅度的63%。以此数据来选择稳压二极管DZ2的稳压值。DZ2的稳压值一般选择约等于正激脉冲幅度的一半。

双晶体管他激式开关电源试验电路之一

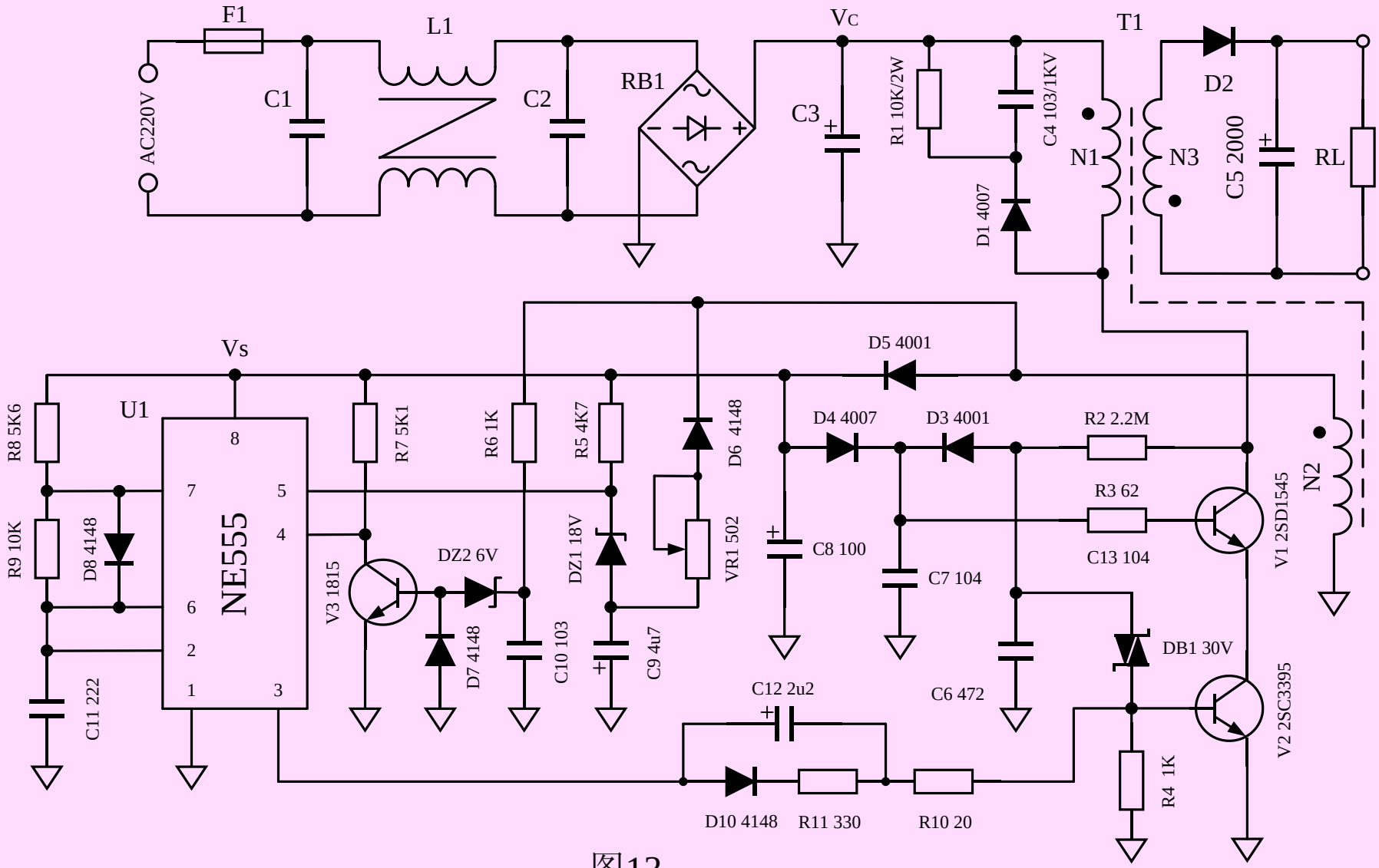


图13

双晶体管他激式开关电源试验电路之二

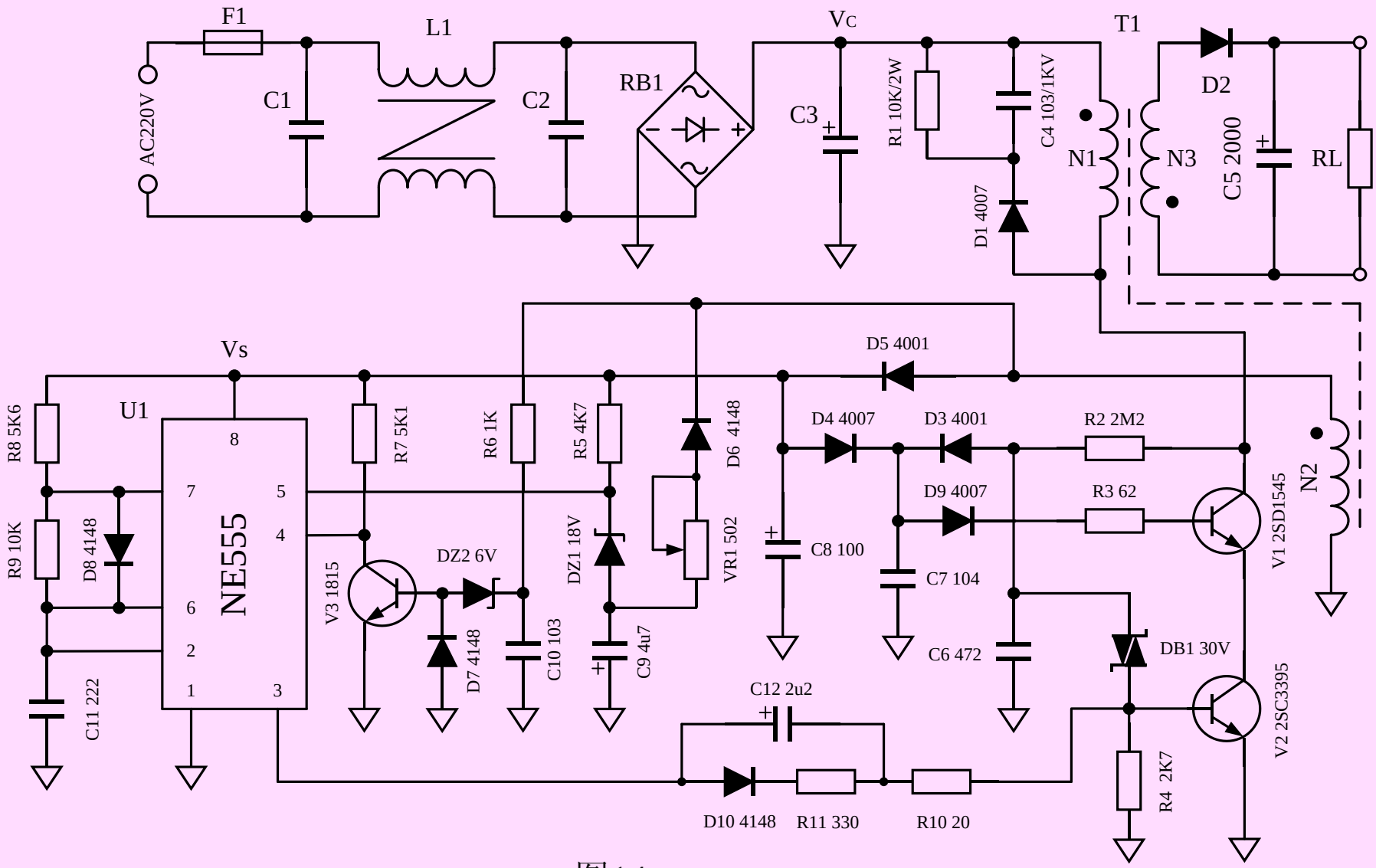


图14

双晶体管他激式开关电源试验电路之三

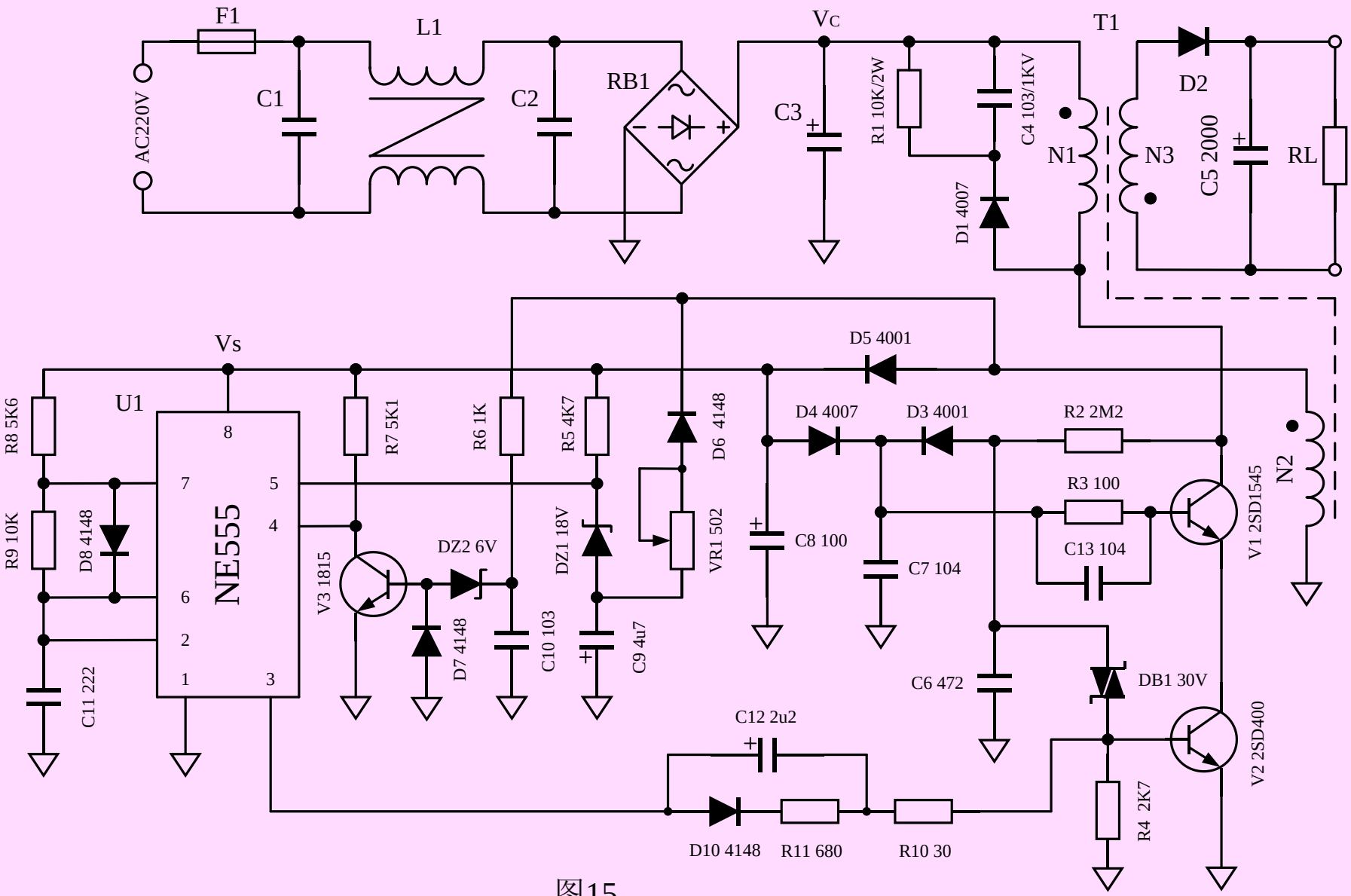


图15

双晶体管他激式开关电源试验电路之四

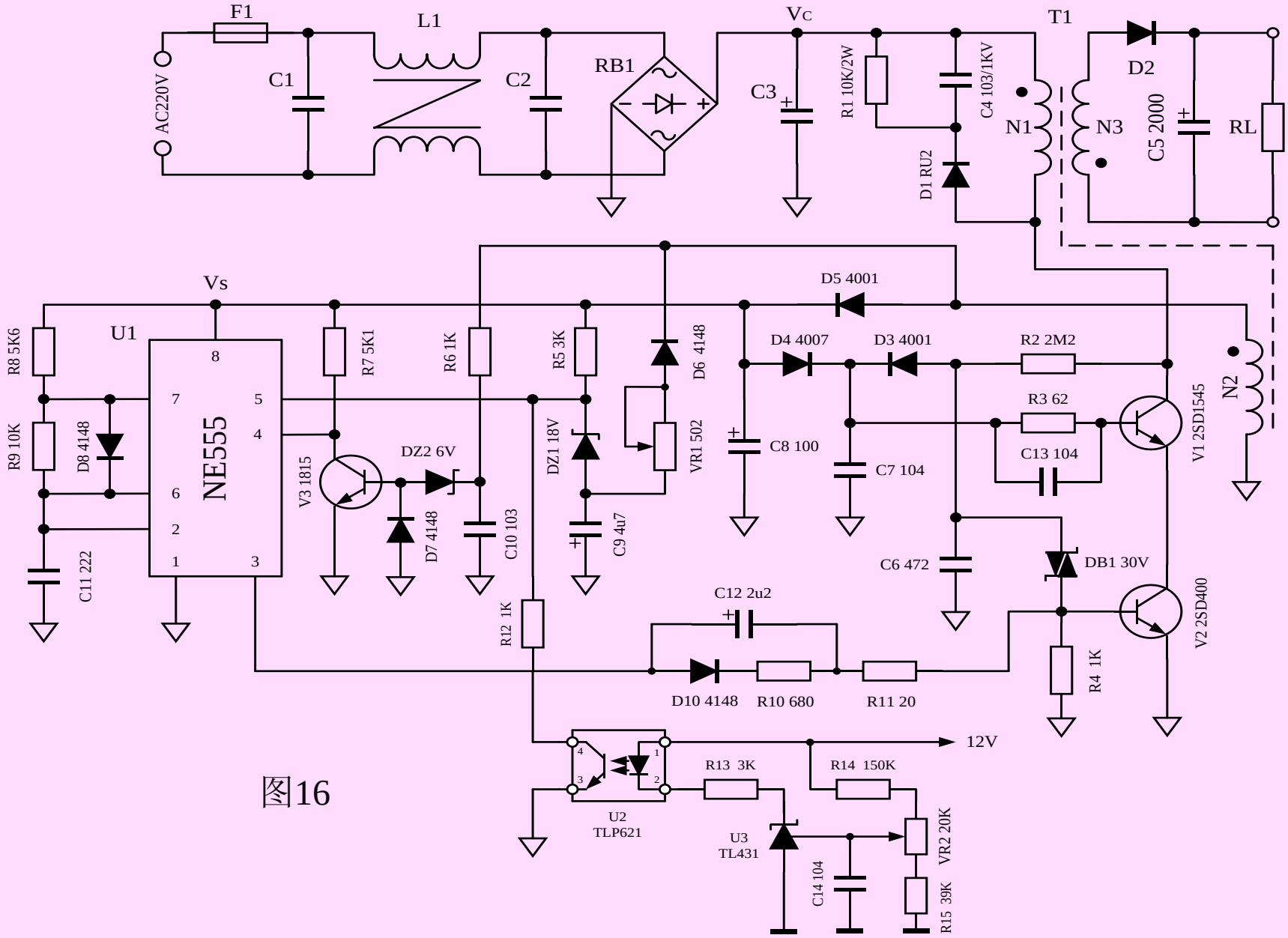


图16

双晶体管他激式开关电源电路设计要点①

- 在图13-16中，有几个地方是值得特别注意的，电容C12、二极管D10、电阻R11电路的主要作用，是用来加速V2、V1的开/关速度的，以降低开关管V2、V1的开关损耗。
- V1与V2串联当开关管使用，但开关损耗功率几乎都是由V1来担当。因为，正常工作时，V2的工作电压基本上就是V1的基极电压，一般只有几伏到十几伏，而V1的工作电压基本上就等于输入电压，因此开关损耗基本上都是由V1来承担。
- V1的耐压，从理论进行分析，其最大值可达到BVcbo值，但在实际应用中，V1的耐压还与V2的关断速度有关，以及与V2的耐压也有关。如果V2的关断时间非常短，则在V2关断期间，流过V1发射极的电流非常小，此电流在V1内部产生的功率密度也将很小，这样就不容易使V1因局部过功率而击穿。实际上，晶体管击穿也是属于热击穿，当晶体管内部的功率密度过大，瞬间产生的热量无法释放时，就会产生热击穿。
- 另外，由于V2的关断速度比V1的关断速度快，当V2关断时，由于V1还没有完全关断，此时会在V2的集电极会产生很高的尖峰电压（约50～100Vp，与R3的阻值大小有关），如果V2耐压很低将很容易把V2击穿，然后V1也会击穿，因此，V2的耐压不能选得太低。

双晶体管他激式开关电源电路设计要点②

- 图14与图13比较，图14比图13多了一个整流二极管D9，D9的作用主要是用来提高V1的耐压值。由于V2的关断速度比V1的关断速度快很多，当V2完全关断时，由于V1还没有完全关断，此时会在V2的集电极会产生一个幅度约50～100Vp的尖峰电压，此尖峰电压的大小与流过V1的电流大小，以及电流变化率的大小均有关，还与电阻R3阻值的大小有关。
- 在V1的关断过程中，变压器初级线圈N1产生的反电动势一定要通过V1的C-B结和电阻R3对电容C7进行充电来释放（此时V2已关断），D9的作用就是阻断反电动势通过V1的C-B结和电阻R3对电容C7进行充电的回路；这样，当V2关断以后，V1的基极和发射极都被悬空，任凭反电动势电压有多高，都不会把V1击穿（假设V2耐压足够高）。
- V2的耐压选得高一些是有好处的。从原理上来说，V2的耐压要高于V1的耐压才是合理的，因为V2关断速度比V1快，V2关断后，反电动势产生的尖峰脉冲电压将大部分加到V2的C-E结上；但由于在V2关断的瞬间，整流二极管D9并不是立刻关断，在整流二极管D9关断的过程中，反电动势照样可以通过V1的C-B结和电阻R3、D9对电容C7进行充电，对流过V2的C-E结电流进行分流，从而使V2的耐压（BVceo）可以降低。在实际应用中，V2的耐压可选得与V1的耐压相同，但V2的损耗功率还是远远小于V1的功率损耗的。

双晶体管他激式开关电源电路设计要点③

➢图15是双晶体管反激式开关电源另一试验电路，在图15中，C13的作用与图14中整流二极管D9的作用正好相反，其主要作用是为了降低开关管V2的耐压而增加的。由于V2的关断速度远远高于V1的关断速度，当V2关断时，由于V1还没有完全关断，此时会在V2的集电极会产生很高的尖峰电压（约100Vp），很容易把V2击穿；当加接电容C13之后，V1关断过程中在基极产生的尖峰电压将被电容C13和电容C7吸收，并且电容C13和C7所吸收的电荷还可以作为V1下次导通时的驱动信号，使工作效率提高。如果V2的耐压选得较高，C13可以取消。

➢ 图15中，晶体管V2最好选耐压BVceo大于35V的管子，因为，在电源刚上电的时候，启动电容C6、C7两端的最高电压一般都在30V以上，如果V2耐压太低，可能在触发二极管还没有被触发导通之前，V2就已被击穿而导通。但实践证明，当V2被击穿时，开关电源还是可以正常工作。因为，当V2被击穿后，V1随即也会导通，而V1导通的驱动电流是由C7提供的，只要C7的容量选择得合适，不使V1导通的时间过长，V2就不会过流损坏。当电源启动过程结束，进入正常工作状态后，电容C6、C7两端的电压一般都在6～12V之间，此电压一般不会把V2击穿。但V2耐压选得太低，对提高V1的耐压是不利的，V2除了耐压（BVceo）需要考虑外，集电极最大电流值也需要考虑。

双晶体管他激式开关电源电路设计要点④

- 图16是双晶体管反激式开关电源输出电压可调范围较宽的试验电路，与图13、14、15对比，图16比图13、14、15多了一个光耦U2和误差放大器U3，及误差信号取样电路R14、VR2、R15。
- 在开关电源应用中，大部分开关电源输出电压基本都是固定的（如LED电源），但也有一些开关电源的输出电压经常需要调整，图16电路就是对应这种情况。
- 图16中，U3（TL431）是一个直流增益很高的误差放大器，并且误差信号是直接从输出电压端（12V）取样，因此，其稳压精度很高；但其瞬态响应性能相对比较差，其取样信号输出一般不能用来作为瞬时过压、过流保护。因此，图13、14、15中的过流、过压保护电路，以及输出电压微调整电路，最好保留。
- 在调试过程中，可先把图16中的R12断开，然后调整DZ1和VR1使输出电压为标准所要求的最大值（极限值），而后再把R12接通，此时，虽然输出电压的调整范围很大，但其输出电压的最大值已经被限制，只能往电压的低端调。而这种输出电压最大值限制与通过改变R14、R15的作用是完全不一样的，因为U3电路的瞬态控制性能比较差，特别是C14被接上以后（C14的作用是防止输出电压抖动）。
- 在尖峰吸收电路中，R1的阻值不能选得太大、电容C4的容量也不能选得太小，否则当电源输出负载很轻或开路时，变压器初级线圈产生的反电动势将很高，很容易把V1、V2击穿。

双晶体管他激式开关电源的优点

- 在高压大功率场效应管还没有大量上市之前，开关电源基本上都是采用晶体管作为电源开关管，并且市场上出现的晶体管开关电源，基本上都属于自激式开关电源，这种自激式开关电源工作效率比较低，电气性能相对也比较差。晶体管与场效应管的工作原理截然不同，晶体管是一个电流控制型器件，作为电源开关管，它需要较大的驱动电流，但控制电压却很低；而场效应管是一个电压控制型器件，作为电源开关管，它需要比较高的控制电压，但驱动电流却很小。
- 由于场效应管需要比较高的驱动电压，而驱动电流却很小，因此，场效应管驱动电路的工作电流可以做得非常小，通常只有几个毫安到十几个毫安，只需通过一个降压电阻与输入电压端连接，就可以给场效应管驱动电路供电。而晶体管的驱动电路，因需要较大的工作电流，因此，晶体管驱动电路的供电问题相对难度比较大，这是阻碍晶体管开关电源一直停滞不前的大问题。现在双晶体管他激式晶体管开关电源的出现，此问题已经基本得以解决。
- 场效应管的高温性能很差，不适宜温度在85℃以上的环境中使用，因此，双晶体管反击式开关电源可适用于条件相对比较恶劣的高温、高压的环境。

晶体管的温度特性（耗散功率与温度的关系）

- 一般功率器件的工作温度都会达到85℃（其中：环境温度为45℃+机内平均温升20℃+本身温升20℃）以上；当工作温度升高时，输出功率会线性下降，如图17。晶体管耗散功率的半功率点大约为87.5℃，即在此温度条件下，晶体管的耗散功率就会下降到只有最大值的二分之一。当温度达到115℃时，其耗散功率只有最大值的四分之一。

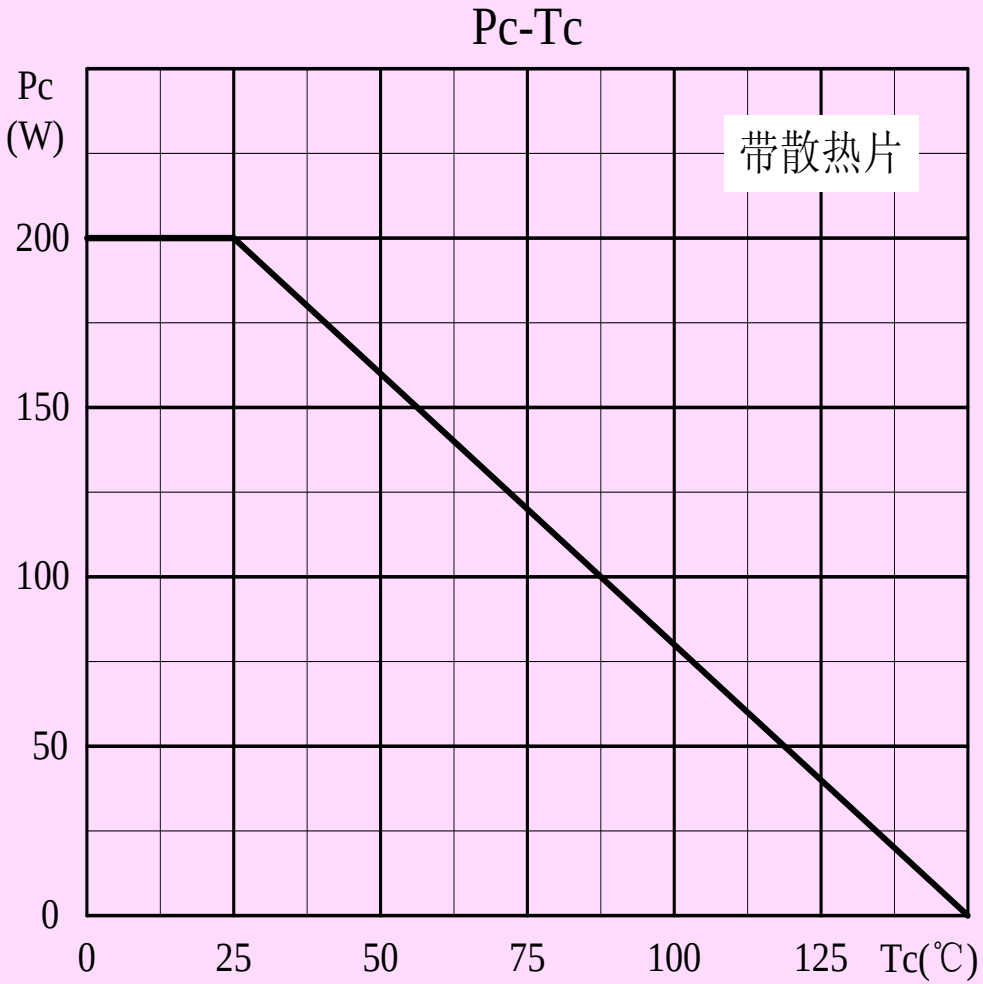


图17　晶体管集电极损耗与外壳温度的关系

场效应管的温度特性（击穿能量与温度的关系）

- 图18是场效应管雪崩击穿与温度的关系。场效应管被雪崩击穿的半能量点对应的结温度只有65℃，当场效应管的工作温度达到87.5℃ 时，其被雪崩击穿的能量只有常温（25℃ ）时的四分之一（比晶体管小一倍）。
- 场效应管的高温性能要比晶体管差很多，因此，在一些高温设备中，最好不要选用场效应管。

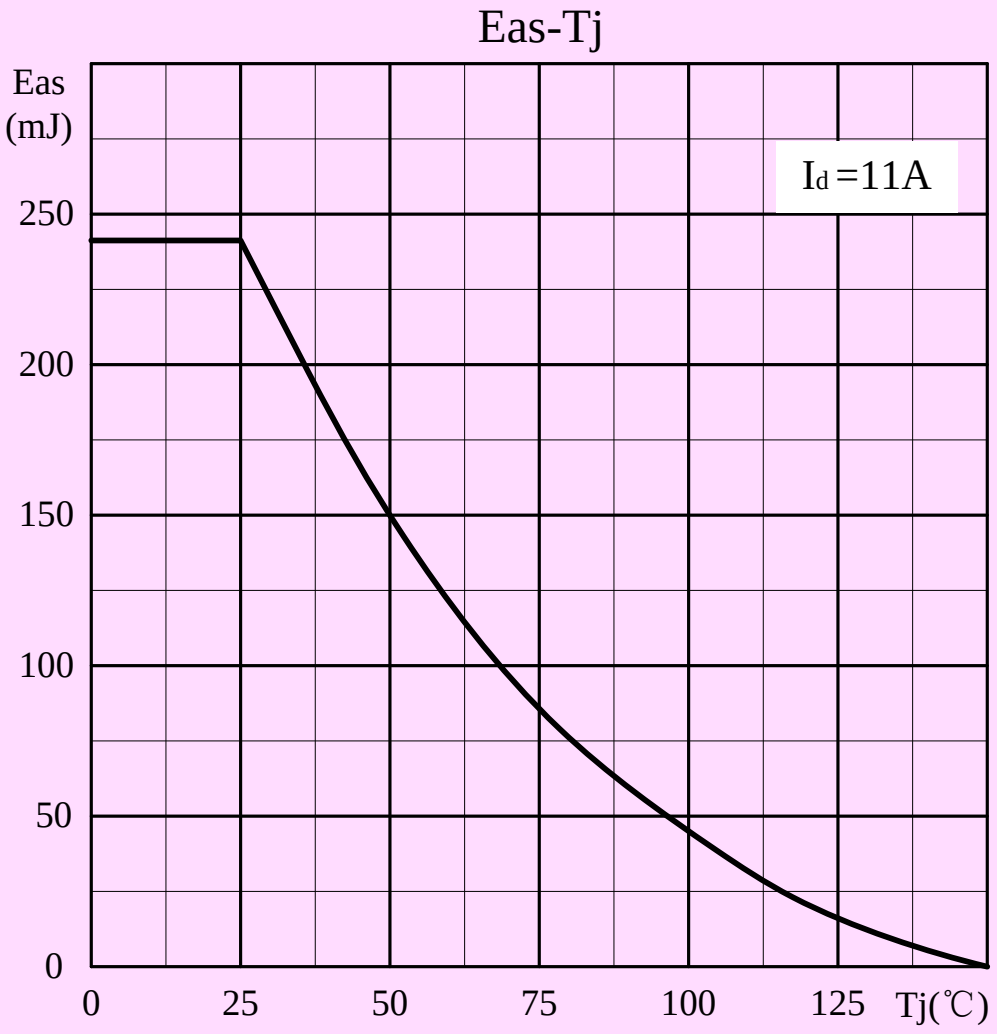


图18 场效应管雪崩击穿能量与结温度的关系

双晶体管他激式开关电源
与场效应管开关电源相比

场效应管的高温性能比晶体管差很多，因此，场效应管开关电源不适宜在温度85℃以上的环境中使用；晶体管的高温性能相对要比场效应管好很多，因此，双晶体管他激式开关电源可在条件相对比较恶劣的高温、高压的环境中使用。



陶显芳：taoxianfang@gmail.com